关于数控机床装调维修技师与高级技师培养的几点想法

上海第二工业大学机械行业职业能力评价考试维修 222 考站 宋海辉 吴小滔 朱弘峰

摘要：

本文结合提升劳动者就业创业能力、提升技能培训质量、加快知识型、技能型、创新型高技能劳动建设大军培养的相关政策、路线、要求，从任务分析，方法研究、能力培养、技术内涵分析、培训问题解决、教学实施步骤和关键等几个方面提出数控机床装调维修技师和高级技师培训的数字化转型建议和方法。

关键字：数控机床装调维修；状态事件分析；能力构建；

引言

早在 2018 年起，国务院就发布了国发[2018]11 号文件[1]，人社部发布了人社部发[2018]74 号文件[2]。从指导思想、政策导向、保障措施等几方面释放了缓解人才供需矛盾，提升就业质量的强烈信号。与之呼应，2019－2021 年，教育部《国家职业教育改革实施方案》[3]正式出台，国务院办公厅印发了职业技能提升行动方案(2019-2021)的通知[4]，人社部《职业技能提升行动方案(2019－2021 年)》[5]发布，机械工程学会《中国机械工程技术路线战略》[6]和中机维协《设备管理与维修路线图》[7]提出。要求数控应用教学，尤其是实践环节培养方法和技术平台必须更先进、更完备，以保证学生所学知识和技能具有实用性、先进性和时代适应性[8]。

任务分析：

目前，我们机械行业职业能力评价考试站的首要任务就是紧密结合行业技术发展的最新动向，在人社部已有的相关职业标准和培训方法的基础上继续研发，谋求新的发展。努力培养懂设备，懂系统，懂管理，懂经济社会，具有优良综合能力和职业素养的新型技术人才或管理人才。

首先，就要进一步认识故障维修技术，引进能够更本质地揭示机电设备故障的理论、推广能够更有利于数字化求解，适合人机结合的故障诊断方法、更有效、快速地构建职业能力。对此，本建议主张利用数控机床装调维修工种所需各类职业能力之间固有且统一的逻辑关系，探索跨学科、跨专业，又在方法上统一的数字化培训方法。由此涉及多方面的具体做法，笔者已在渐次推进，另文叙述。这里先介绍一下本建议主张的方法。

方法研究：

第一，数控机床装调维修是一项关于周密求解复杂工程问题的技术工作。

通讯作者：朱弘峰 （1974.10） 男，汉族，江苏吴县，高级工程师，上海第二工业大学智控学院实验技术人员，机械行业职业能力评价第 222 考试站管理员， 研究方向：数控技术应用与教学 Tel.：13795356977；E-mail：hfzhu@sspu.edu.cn； 上海 201209
作者：宋海辉 男，教授，上海第二工业大学智控学院实验中心主任、支部书记，机械行业职业能力评价第 222 考试站管理员，吴小滔（1951.）女，副教授，主研方向：复杂系统理论

要求从业人员有一定技能基础和设备操作经验。综合能力要求能将复杂机电工程问题分解为若干只包含一对技术矛盾的技术问题，再求解。一般能力要求就是具有对机电系统的设计、制造，和运维工作的全过程认知；涉及的专业能力包括分析设备在工作过程中的状态和事件相互关系以及状态变化过程的技能，和利用特定机电结构、控制模型、构建机电系统，或保障设备正常工作条件的能力。

第二，数控机床故障诊断与维修实际是开发设计过程的“逆过程”。开发设计是根据已知研究目标和研究条件，进行系统构建的过程。需要分析要实现的工艺，演绎设备构建和运行过程。解决任务方案设计，产品规划设计、概念设计、构形设计、制造过程设计等的全过程问题。故障诊断与维修是对意外处于无序状态的动态系统进行有序分析的过程，是根据已知系统运行结果和过程，确定系统工作过程中的关键状态，或追溯关键事件，分析和确定设备故障位置和原因的过程。需要归纳性整合的能力。

第三，系统的分析、综合、演绎构建和状态过程的细化、归纳、状态/事件追溯，两者所分析的过程条件和结果的逻辑关系是统一的。即，开发设计和故障的诊断、维修的研究方法是统一的。可引进并且灵活应用状态/事件分析[9]方法对这种统一的逻辑关系展开分析。当分析方法统合了机、电、软件控制的相关知识，统合了理论与实践，便可期望解决诸如改进部分结构，克服原有缺点或满足新的工作要求的技术革新问题、绿色制造问题，或在消化、吸收先进产品核心技术的基础上，开发出同类产品的创新机型，甚至产生发明创造；当改变已知条件和待求问题，就可以解决设备异常状态分析与定位，以及确定异常原因和解决方法的问题，即故障诊断与维修问题。由此可见，对标数控设备运维相关的职业能力培训，可以展开如下两项核心能力和一项专业能力的培训。

核心能力的培训：

演绎性构建能力，即，用演绎推理的思维方法分析机械系统设计中的工程问题，找出工程问题中的若干细节技术问题。然后顺着系统各环节运作的过程逻辑整理技术环节的作用顺序，再结合虚拟或现实两方面的技术手段逐个解决技术问题，最终将技术问题的解融合为工程解。一般职业能力的培训就体现为演绎性构建能力的培训。

归纳性整合能力，即，用整合思维的方法建立系统运作的逻辑模型，深刻认识系统赖以维持正常工作的状态迁移过程，及必要的触发事件，并在此基础

上按步骤比较设计的工作过程和实际工作过程，发现异常工作过程或状态，再通过全工作过程的循环反思，找出动态过程中的技术问题进而定位故障，或确定优化、解决方案。综合能力的培训就体现为归纳性整合能力的培训。

专业能力的培训：

包括借助现代化工程工具的机电结构建模、逻辑建模、分析、仿真、可视化编程、工业网络等具体的数字化技术应用。呈现为在一般能力和综合能力的培训过程中，学生所掌握的知识和技能，以及逐步养成的安全意识、规范意识、严谨的工程习惯和作风。

对于正在接受高等职业教育的在校专科、本科学生，以上核心能力和专业能力的培训可与相关职业标准互补统一，培训的产出同时符合教育部工程认证的要求，适用于高等教育学校“1+X”教学升级[10]。对于在职人员技师、高级技师晋级培训，以上职业能力的培训符合他们已经养成的技术认知习惯和工程习惯，通过机构建模和逻辑建模练习，也能帮助从业人员在原有技能的基础上稳步融合数字化技术。

技能培训的问题：

常见故障按表现形式主要分为确定性故障和随机性故障两类，按故障发生位置的机电结构又分为机械故障和电气故障。常见的故障诊断方法主要有比较法、互换法、尺寸调整法、状态观察法、参数设置法、报警查询法、案例分析法等。学员在培训时应该对以上方法逐个展开练习，但实际因所需培训过程过分漫长，而学时有限，培训资源有限，很难在培训过程内尝试所有故障诊断方法。实操考试也往往因为难以复现偶发性故障，只对典型确定性故障的诊断维修展开命题和考试。

实际生产中往往通过案例记录来浓缩以上方法具体应用的漫长过程，当故障再次出现，直接根据现象比对，按部就班地采取排故措施，达到提高效率的目的。久之，维修技术人员的技能水平就体现为排故效率。以数控机床换刀机构维修为例。四方刀架作为一种通用装置，其常见故障的维修技术都已高度成熟，传统维修方法就按各种故障现象和故障部位，对应地总结出完整的维修案例集合。如换刀无动作、寻刀不执行或不能正确完成、刀架锁紧无效等数十例。每个案例都指出详细的异常检查范围和检查方法。维修人员通过比对故障现象就能方便地查询到相应的诊断排故方法。例如换刀不启动，就检查换刀指令有没有被执行、继电器/接触器电路电源有没有通电、电路是否正常、元气件是否

动作、电机是否堵转等；锁紧失败就检查电机有没有反转、反转时间是否足够长、止转插销动作有没有到位、锁紧螺母位置是否正确等。

而对于高端数控车床和加工中心的刀库，作为一种专用辅助装置，具有较高复杂性，各个厂商有其独到的操作、监控和故障诊断维修方法，甚至有专用的软、硬件调试维修工具。对于这类复杂装置，基本要按原厂技术资料指导展开状态检查和诊断维修操作。若按指导未能解决问题，而且没有参照比较的对象，或许就要陷入摸索分析的窘境了。

又如，西门子伺服电机经过更换编码器维修后，空载功率显示就很大，不能正常工作，没有报警或伴有零位标记丢失、需要重新检测换向角等报警；发那科系统的数控外圆磨床因为头架皮带预紧力调整不到位产生头架转动时振荡；国产某型号数控机床主轴分离式编码器连接松动在主轴高速旋转时产生噪音和发热等故障，停机检测又并未发现机械故障。这样的故障许多都不能在原厂技术资料中找到诊断排故方法，而且看似毫无关联。但经过案例总结后，却能发现它们的故障原因都存在于同样的编码器反馈控制环节中。

诸如以上所述案例，一台先进的数控设备所表现出来的故障现象往往令许多持证上岗的技术人员难以找到对症的诊断方法，总感觉培训所获维修技能无从发挥，经验积累远水解不了近渴。这就是数控机床故障诊断与维修培训和实际生产共同面临的问题，下面谈一谈如何通过深度挖掘故障诊断的技术的内涵找到排故问题答案的一些探索。

技术内涵分析：

自动化机电系统总是按指定的工艺步骤完成预设的任务，每个步骤执行时都维持一个确定的工作状态或暂态过程，例如数值不变、递增、递减、或按某种函数关系单调变化等。从外部观察，系统从初始状态开始工作，每当完成当前步骤，开始下一个步骤，系统工作状态就从原状态迁移到新状态。就像在状态发生变化的那个时刻发生了一个状态迁移事件，或者说，有一个状态迁移事件发生，改变了系统的运行状态。简而言之，这就是过程状态和迁移事件之间的逻辑关系。状态事件分析法刚好可以从复杂动态系统的外部展开过程逻辑分析和建模，可迅速表述系统复杂的动态逻辑过程，因此是一种有效的工程方法。

从状态事件分析的角度看，系统的状态以及事件都可理解为集合的概念。系统动态过程完整的状态集合和事件集合都包括正常运行时和故障时的状态、事件集合，且故障状态集合是正常状态集合的补集。正常运行系统的动态过程

符合人为设计的状态和事件集合，是有序的。但故障事件的发生和故障状态的维持不属于事先设计的集合，是无序的。从未发生故障的设备，其故障状态集合和故障事件集合都为空集，故障过程不确定，但一旦发生故障并成功排除，故障集合就非空了，里面不但分别产生了一个确定的迁移事件和一个对应的故障状态，而且还在正常状态序列中留下了发生故障迁移事件的明确定位信息，故障过程被明确记录，系统完整的运行状态、事件集合被进一步丰富。这个过程和运维人员经验积累的过程极其相似。再看原厂技术资料，实际可以看作厂商在研发过程中就预先总结了常见问题，丰富了部分状态事件集合。总之，采用状态事件分析法，可将有序的正常运行过程和无序的故障过程一律纳入有序的分析考察过程中。

培训改革成败的关键：

自动化机电系统主要包括机械、电气和自动化控制，这三方面的技术。状态事件分析自然就围绕机、电、控制软件展开。综上可知，系统完整运行过程需要经过一定的使用时间才能逐渐丰富的。新型的先进设备从投入使用到稳定

生产 人员智慧的结晶。因此，无论是在职设备

运维 件分析方法，都将有助于技能和认知的进

一步 缺资源的问题，不是吗？以题库形式呈

现的 教育的学员只要背熟题库便能轻松通过考

试， 培训改革还能不能成功？

关键在于采用数字化仿真手段进行辅助演绎和虚拟调试。因为数字化机电结构模型可以更清晰地反映实体上不便观察的静态结构和动态过程，结合数字化逻辑模型的虚拟调试，可以人为地暴露系统在结构上、环节上和逻辑上潜在的故障状态和触发的事件，以便迅速获得故障防范和诊断排故预演的经验。只有学员深度理解了技术内涵之后，以上两个问题才会自动消失，培训改革才能成功。

再反观上文提及的案例，经验丰富的维修人员只要一看故障现场就大致知道诸如刀架换刀过程可能在哪个步骤发生异常，刀库的哪个动作条件信号没到位，伺服装置可能在哪个控制环节上发生参数恶化等故障分类信息，预判出故障的原因，以及在结构和逻辑过程中的故障定位信息，指导检测、诊断，进而快速排故。应届学生和谋求晋升的在职员工也可以在培训过程中，通过数字化仿真手段，更清楚地了解设备工作原理和运行过程，贯通传统培训本该掌握的

方法，在真实故障发生前准备好经验，力求在诊断排故实战中取得接近资深人员的效率。

综上，结合了数字化仿真手段的状态事件分析能够突破任何一个单一的结构分析、工作原理分析、控制过程分析等，也能够突破对这些内容的综合分析，其优点最主要是包含了对动态变化的逻辑条件集合的分析，同时还包括所有导致异常的逻辑条件分析。

关键教学步骤：

首先，强调数字孪生培训，虚拟、现实，两手抓，两手都要硬。第一步，做到眼睛里有实物，从现实中来，建立对实体机电结构的初步认知；第二步，电脑里有模型，数字化建模，并反复验证，确定如实反映实体的结构，甚至如实表现实体工作状态、事件、过程。还要经得起在虚拟仿真环境下任意地观察、拆解、试运行，乃至采用工业网络技术实现虚实联调；第三步，脑子里有模型，这个模型是所有实体细节、原理细节和过程细节在意识空间里的投影。要在任何时间，任何环境（现实/虚拟）下，只要发现任意细节表现，就马上能映射到意识中的模型。甚至还能根据细节直接在脑中进行演绎或思想实验，预测下一步状况。第四步，回归到现实，形成闭环，检查认识与实现，梳理、调整，不断进步。

思政体现：

以上四个步骤实际上就是从工程经验积累到工程习惯养成的步骤，有些资深从业人员对此很熟悉，这也是达成核心能力目标和专业能力目标的关键步骤。需要反复实施多遍，第一遍按给定的在线课程资源顺序完成，体会后尝试自行设计或剖析不同机电系统。在乱序、反复的尝试过程中，不断查漏补缺，整理研究对象和研究过程中错综复杂的逻辑联系，归纳出机电系统构建问题的通解。这就是上文所谓循环反思。数控机床运维人员通过培训可掌握数控设备运行最本质的逻辑过程，学会实事求是地认识故障、辩证严谨地分析故障，并且在具体的运行状态、事件、过程中认清故障的本质，突破传统故障维修的思维，理出一种统一的，广义的，有利于进一步转型为智能数字化方法的诊断排故的思路，从而用新的理论指导科学规范地解决故障。同时也为数控设备故障诊断，甚至为数控和智能自动化系统设计打下扎实的基础，培养工匠精神、创新思维，实现理实融合，为将来科技报国炼好基本功。

综上所述，本文建议在数控机床装调维修技师和高级技师培训、命题和考

核过程中，以一种易于被广大从业人员接受，同时也易于进一步采用数字化手段实现求解的方法渐进式地展开数字化转型，契合职业技能提升行动，争取率先转型成功，惠及学员、惠及从业人员、惠及行业，同时把数字化转型风险降到最低。

参考文献

[1] 文件汇编（2022）机械工业职业技能鉴定指导中心. 人力资源社会保障部关于在工程技术领域实现高技能人才于工程技术人才职业发展贯通的意见（试行） 发[2018]11 号 [S].
[2] 文件汇编（2022）机械工业职业技能鉴定指导中心. 国务院关于推行终身职业技能培训制度的意见 人社部发[2018]74 号 [S].
[3] 2019-2021 国家职业教育改革实施方案[S].
[4] 文件汇编（2022）机械工业职业技能鉴定指导中心. 国务院办公厅关于印发职业技能提升行动方案(2019-2021)的通知 国办发[2019]24 号 [S].
[5] 职业技能提升行动方案(2019
2021 年) [S].
[6] 中国机械工程学会. 中国机械工程技术路线图[M]. 北京：中国科学技术出版社，2016.11
[7] 中国机械工程学会设备与维修工程分会. 设备管理与维修路线图[M]. 北京：中国科学技术出版社,2016.11
[8] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证工作指南[M]. 中国工程教育专业认证协会秘书处,2017.11
[9] 吴小滔,陈冠玲,杨美华,唐国春. 逻辑控制类系统建模的实现[J]. 计算机工程 2005, 31(21): 195-200
[10] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证工作指南[M]. 中国工程教育专业认证协会秘书处,2017.11